

Solare Zwangsdurchlaufkessel für Parabolrinnen- und Fresnel-Kraftwerke

18. Kölner Sonnenkolloquium (19. Mai 2015)

Jan Fabian Feldhoff

DLR-Institut für Solarforschung
Abt. Linienfokussierende Systeme
Gruppe Prozessentwicklung



Wissen für Morgen



Wo stehen die solaren Durchlaufkessel?



Frau Ing:

will neue kostengünstige Technik für ihr Projekt nutzen, nämlich die solare Direktverdampfung (DSG) oder genauer: das „solare Durchlaufkonzept“



Herr Fin:

soll Geld für das Projekt geben und ist eher konservativ

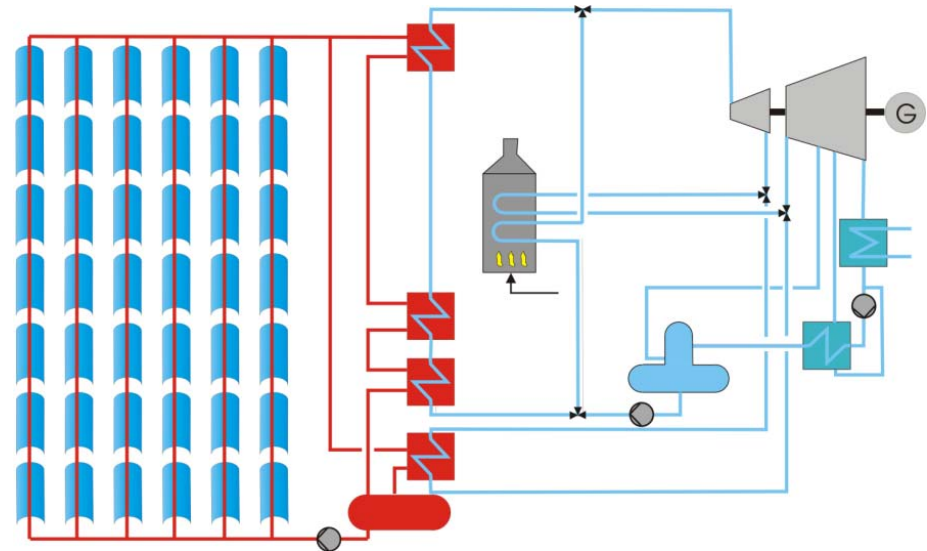




Warum kein bewährtes Thermo-Öl-Solarfeld?



- Mittelfristiges Kostensenkungspotenzial bei Öl gering
- Beschränkung der Wirkungsgrade durch 400°C-Limit des Thermo-Öls
- Direktverdampfung (DSG) zum Beispiel über 8 % effizienter
[Feldhoff, Schmitz et al. (2012), Sol. Energy, Vol. 86]
- Relativ teures Fluidsystem
- Umweltauflagen

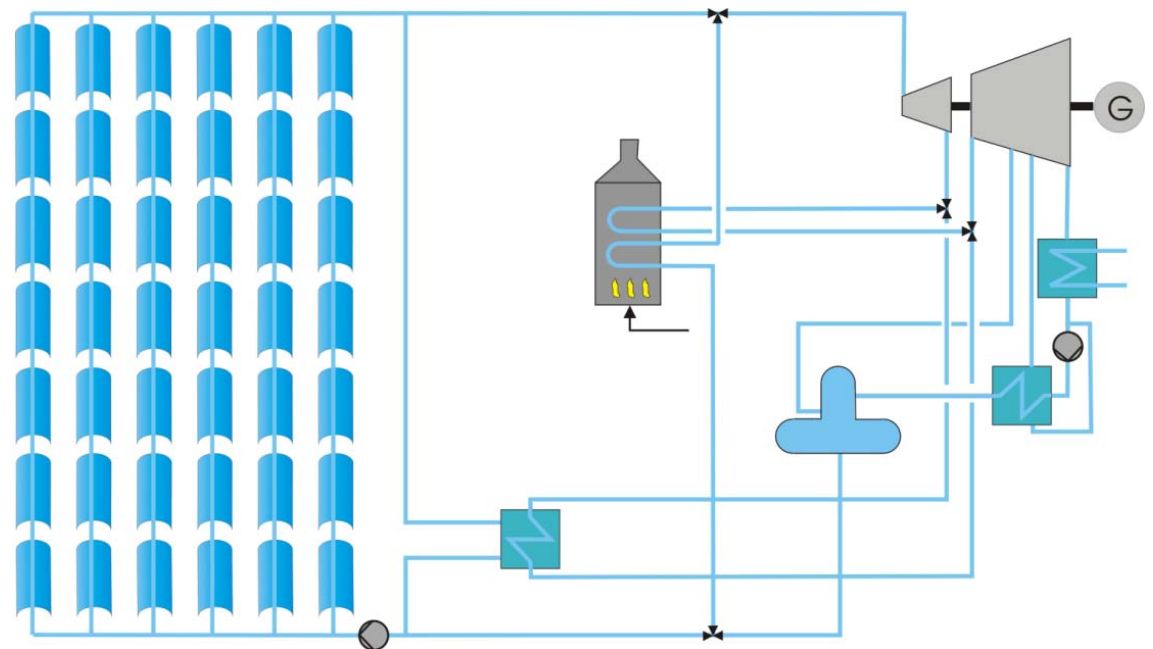




Was ist denn Direktverdampfung?



- Sehr ähnlich zu konventionellem Kraftwerk; allerdings mit Dampferzeugung direkt im Solarfeld





Funktioniert das denn?

Verdampfung in horizontalen, verteilten Rohren?

- Dank langjähriger Forschung und Innovatoren ja!
- Im „Rezirkulationskonzept“ schon kommerziell nachgewiesen



PE-2 Kraftwerk, Spanien, 30 MWel (Novatec Solar)



TSE-1 Kraftwerk, Thailand, 5 MWel (Solarlite)





DSG Innovationsverlauf

Produkt

John Ericsson
3 m² Mikro-DSG
1870/1883



Shuman Collector
Meadi, Ägypten
1913

PE-1, PE-2, TSE-1 Kraftwerke



Real-DISS / ITES Versuchsanlagen

INDITEP, DIVA...

DISS-Versuchsanlage

GUDE, PRODISS ...

Idee

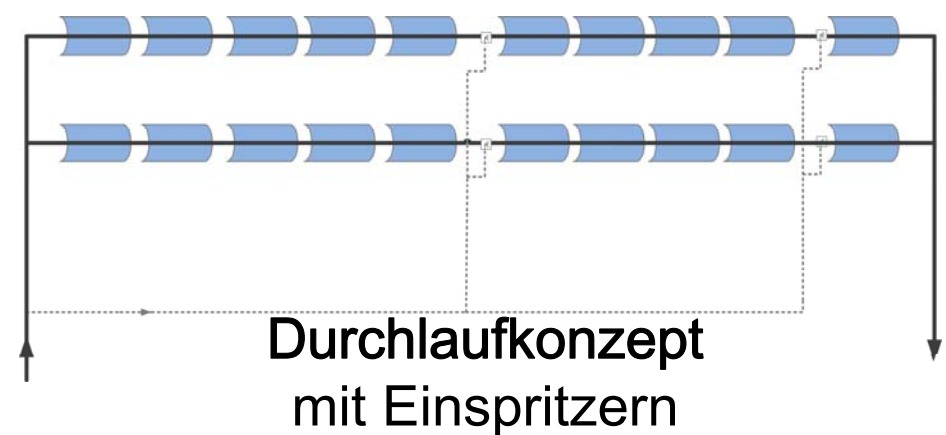
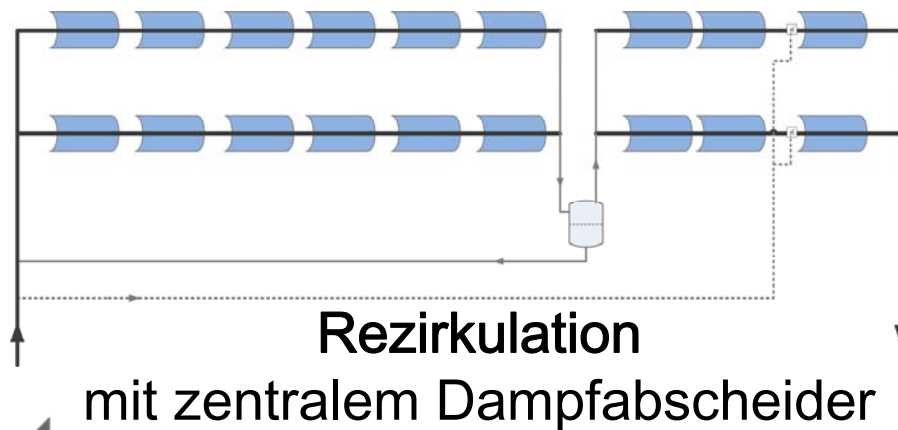




Und Sie machen das jetzt genauso, oder anders?



- Noch kosten-effizienter durch Zwangdurchlauf:
Einsparung der Dampftrommel, weniger Rohrleitungen und Pumpen
- Entwicklung analog konventioneller Dampferzeuger
 - Konventioneller Benson®-Kessel: überkritisch ohne Verdampfungsende
 - Solarer Zwangdurchlauf: unterkritisch wegen Solarfeld-Komponenten





Wurde das schon gemacht?



- An einem Kollektorloop durch Forschung prinzipiell nachgewiesen
- DUKE-Projekt (Durchlaufkonzept-Entwicklung und Erprobung):
 - DISS-Anlage mit 3 Solarlite-Kollektoren auf 1000 Meter verlängert
 - Sensoren zur genauen Analyse des Durchlaufkonzepts
 - Robustes, einfach zu implementierendes Regelkonzept entwickelt und demonstriert

Gefördert durch:

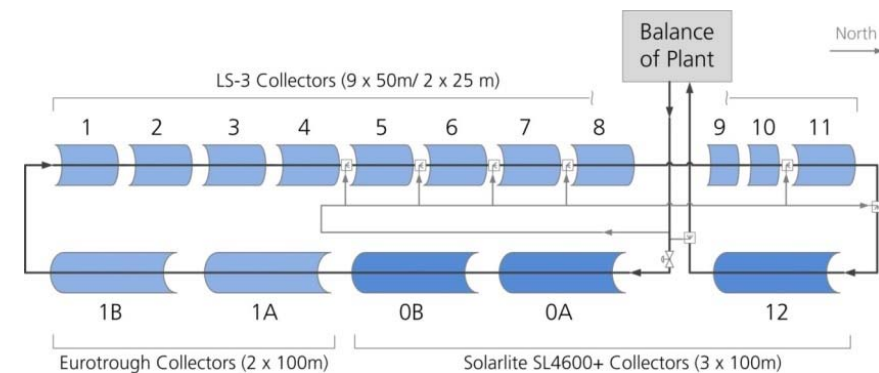


Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Erweiterte DISS-Versuchsanlage





Und was sind dabei die Herausforderungen?



- Verdampfungsende ist nicht fixiert (keine Dampftrommel), sondern schwankt innerhalb eines Kollektorstrangs
- Geringe thermische Trägheit durch Fehlen der Dampftrommel
 - Schnelle Regelung erforderlich
- Hohe Dichteunterschiede des Fluids zwischen Ein- und Austritt
 - Massenstromänderung am Eintritt wirkt erst nach 5 bis 35 min am Austritt
 - Lokale Einstrahlungsunterschiede führen am Austritt zu Temperaturverlauf mit anfänglich gegenläufigem Charakter



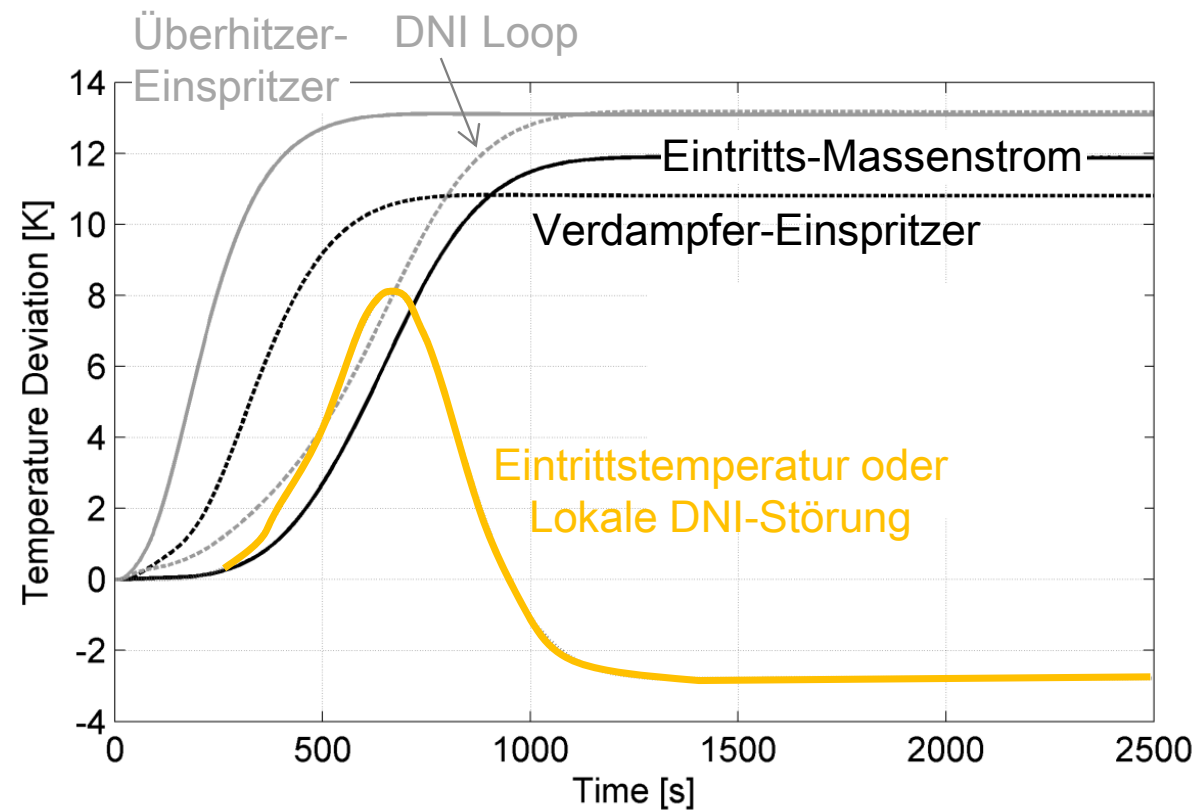
Und das ist lösbar?





Temperaturverhalten bei Störungen

- Hauptregelziel:
Konstante Austrittstemperatur
- Grundidee:
Massenstrom der jeweiligen
Einstrahlung anpassen
- Aber: Starke Verzögerung bei
Eintrittsmassenstrom
 - Regelung kann Temperatur-
stabilität verschlechtern!
 - Aufteilung in zwei oder drei
Teilabschnitte durch Einspritzer

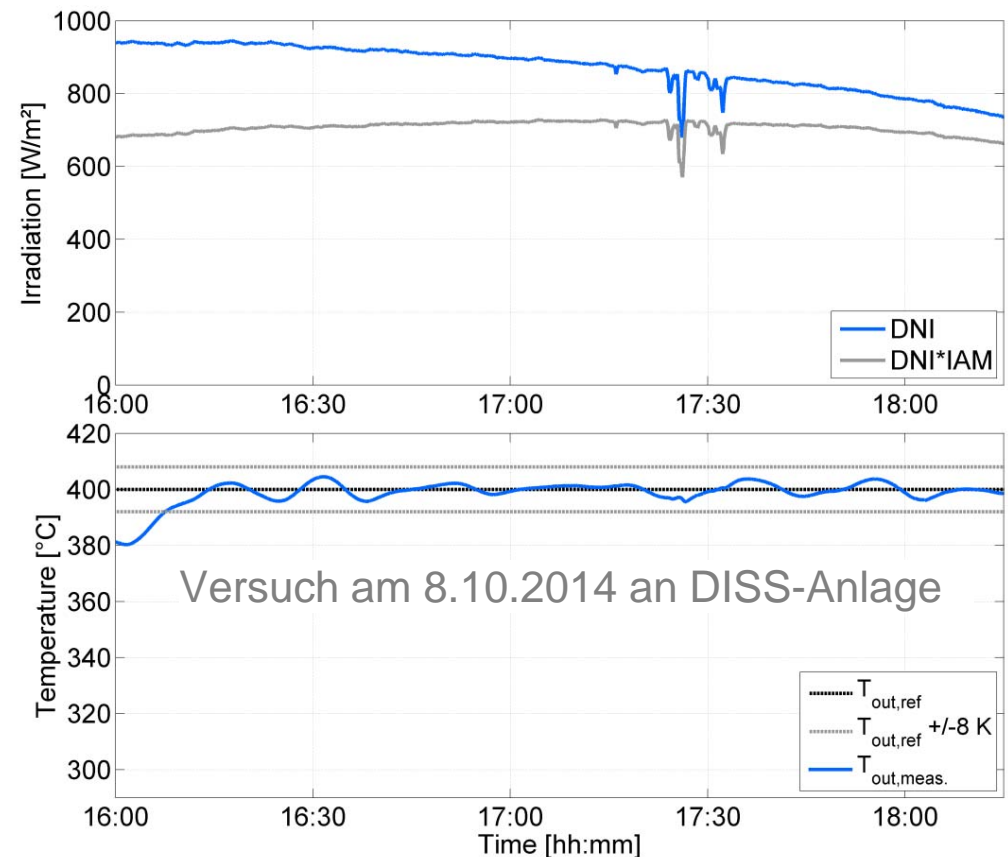


Regelkonzept experimentell validiert

- Neue robuste Basisregelung:
 - Adaptierte PI-Regler für Einspritzer
 - Nicht-lineare Vorsteuerung für Überhitzer-Einspritzer und Eintritt

Konzept an DISS-Anlage experimentell validiert

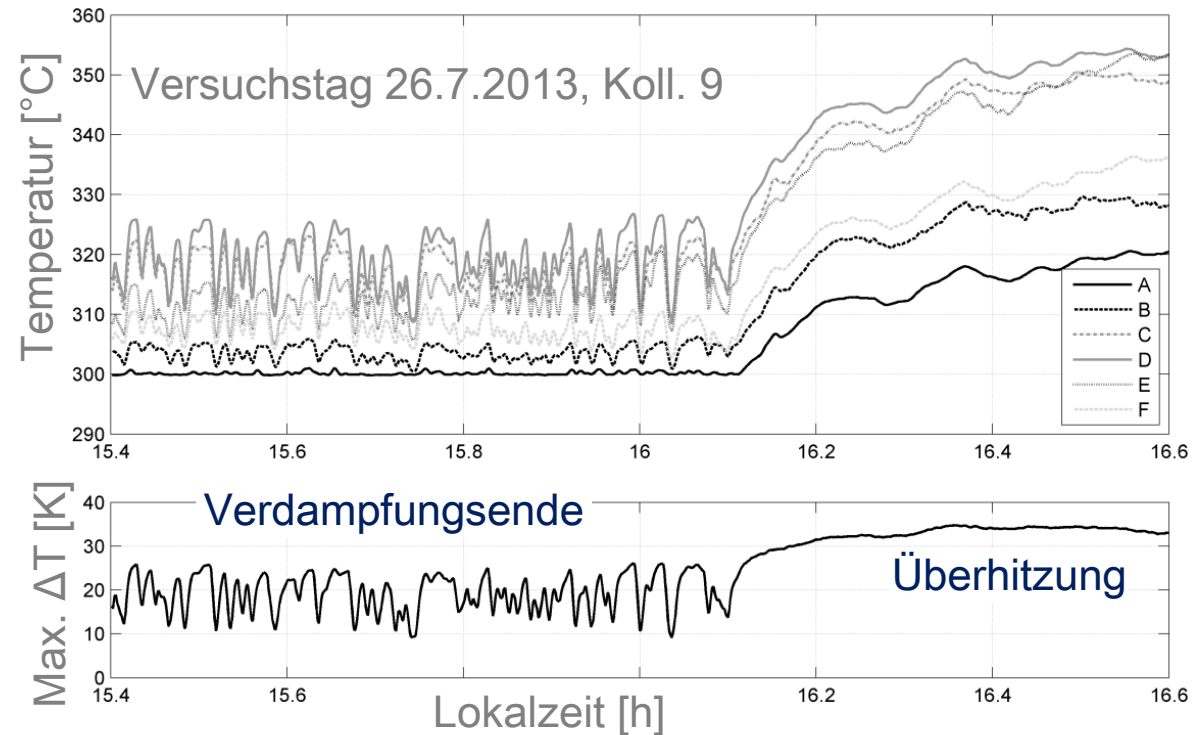
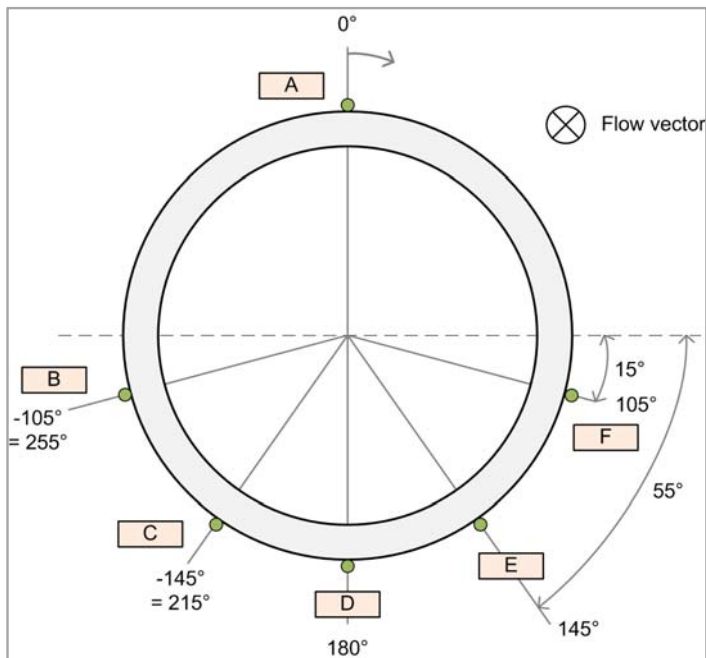
- Mittelfristig: lokale DNI-Messung oder -Vorhersage gekoppelt mit modellprädiktiver Regelung





Visualisierung Verdampfungsende (Rohrwand)

- 24 SCHOTT Cross-Section Receiver
(Temperaturmessung um den Umfang an Rohrwand im Vakuum)



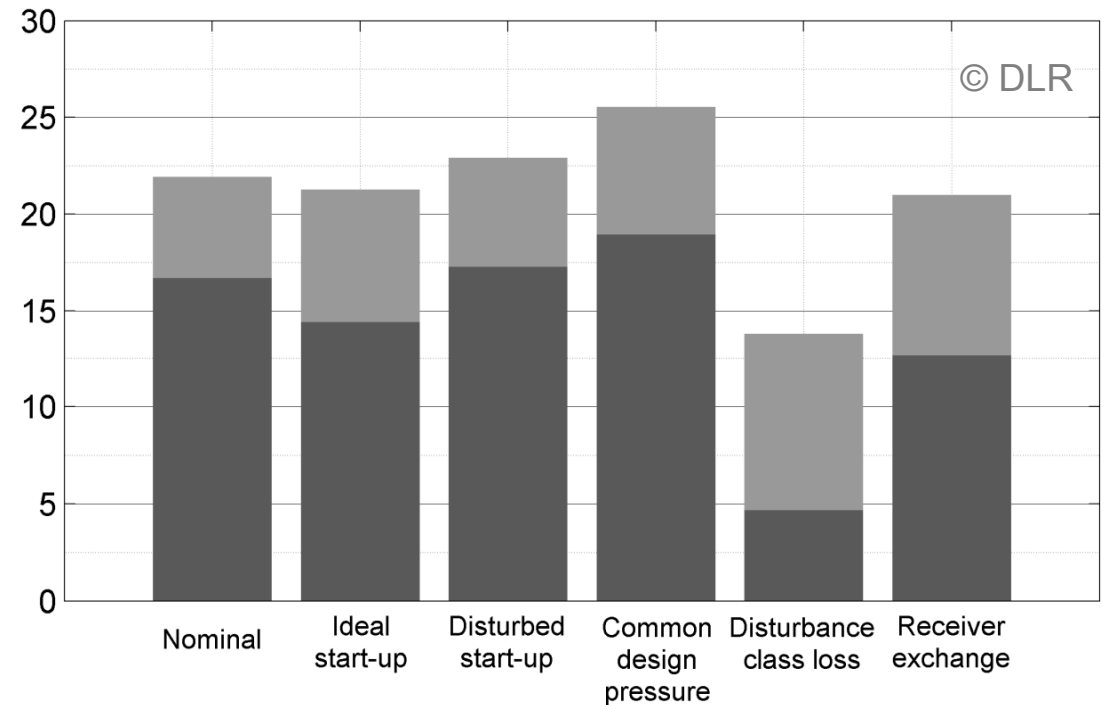


Macht das denn ökonomisch Sinn?



- Vergleich 245 MW_{th} Solarfelder
- Zwangsdurchlauf ist 16..22 % günstiger als Rezirkulation (Wärme)
- Auch sehr konservative Annahmen für Unsicherheiten bei Betriebsverhalten und Verdampfungsende führen noch zu Kostenreduktion
- Rezirkulationsfeld schon > 10 % günstiger als Öl-Feld (Strom, ohne Speicher) [Feldhoff, Schmitz et al. (2012), Sol. Energy, Vol. 86]

Potenzial der Wärmegestehungskosten
Durchlauf vs. Rezirkulation [%]





Was meinen Sie?

- Funktionsfähigkeit des solaren Zwangsdurchlaufkessels demonstriert (vor allem robustes Regelkonzept vorhanden)
- Bereit für kommerzielle Ausgestaltung
- Erscheint trotz Unsicherheiten lohnenswert
- Weitere Forschung für Detailfragen und Weiterentwicklungen
- Lebensdauer der Receiver scheint unkritisch, aber unsicher: im Kraftwerk über Monitoring-System an einem Loop überwachen
→ Wettbewerbsvorteil durch zuverlässigere Bewertung bei Folgekraftwerken



Fragen oder Anregungen?

Jan Fabian Feldhoff

DLR-Institut für Solarforschung | Linienfokussierende Systeme | Prozessentwicklung
Standort Stuttgart

jan.feldhoff@dlr.de



Nicht vergessen: ab 16:30 h besteht die Möglichkeit zur
Besichtigung des Sonnenofens, CeraStorE® und Quarz®

→ Bitte tragen Sie sich vorab in die entsprechende
Anmeldeliste ein!



Thanks to Bitmojy by Bitstrips for enabling Ms. Ing and Mr. Fin...

